Petroleum University of Technology

In the name of GOD

Pendulum and System of mass and spring

Report from a laboratory experiment conducted on?? ١١-december-٢٠١٨

As part of vibration lab

Hamed Mahmoudian

٩٥٦١١٢٣

Hamedmahmouduian76@gmail.com

http://amozeshrayegan.blog.ir

٢٥-december-٢٠١٨

Scanned by CamScanner

آزمایش اول:

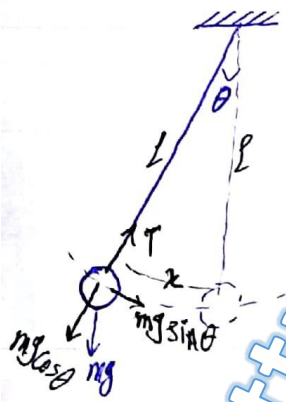
چکیده: آزمایش پاندول ساده که متشکل از گوی معلق و نخ سبکی است که برای بررسی رابطه طول نخ و جرم گوی با پریود نوسان برای ارتعاش یک درجه آزادی بدون میرایی استفاده می‌شود.

مقدمه: همواره در پیرامون خود با ارتعاشات زیادی روبرو داشته‌ایم که گاهی مضرب و گاهی هم با کنترل کردنش برای هدفی خاص استفاده می‌شود. امروزه در بسیاری از صنعت‌ها برای ارتعاش امری مهم تلقی می‌شود. مثل ارتعاش اجزای مختلف ماشین آلات، سلول‌ها، تونل‌ها، هواپیماها و ...

البته در مواردی مثل مغز جیاه، وکلن زمین و ... ارتعاش ایجاد کرده و در جهت اهداف خود استفاده کرده‌ایم. ما در اینجا می‌خواهیم ارتعاش آزاد را با استفاده از آزمایش پاندول ساده بررسی کنیم.

تئوری آزمایش: آونگ ساده ای به جرم نقطه‌ای و از نخی بی‌جرم آویزان است. اگر آونگ را از حالت تعادل به یک طرف کشیده (به اندازه زاویه‌ها) و رها کنیم، آونگ بخاطر تأثیر نیروی گرانش در جهت مخالف شروع به نوسان می‌کند. نیروی وزن mg را به دو مؤلفه، یکی مماس بر جهت حرکت آونگ و دیگری در امتداد نخ تجزیه می‌کنیم. mg در امتداد طول نخ است که توسط نیروی T خنثی می‌شود و $mg\sin\theta$ نیروی مماس بر جهت حرکت که باعث حرکت آونگ است.

نیروی شعاعی یا مرکزگرا باعث می‌شود تا آونگ بر روی مسیر کمانی از دایره حرکت کند. نیروی عمودی (نیروی بازگرداننده) سعی دارد تا آونگ را به حالت تعادل برگرداند در نتیجه با علامت منفی مشخص می‌شود.



$$T - mg\cos\theta = \frac{mv^2}{l}$$

$$\sum F_{\text{مماس}} = 0 \rightarrow F = -mg\sin\theta = -mg\theta = -mg\frac{x}{l}$$

$$\rightarrow F = ma = -mg\frac{x}{l} \rightarrow a = -g\frac{x}{l} \quad \frac{a = r\omega^2}{\text{شتاب زاویه‌ای}} \rightarrow a = -\omega^2 x = -g\frac{x}{l}$$

$$\rightarrow \omega^2 = \frac{g}{l} \rightarrow \boxed{\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}}$$

چون F در خلاف جهت برآیند مکان است، پس منفی است. و چون برای زاویه کمتر از 6°، θ و $\sin\theta$ یکی است پس $\sin\theta \simeq \theta$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} \rightarrow \boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}$$

g = شتاب گرانش

T = پریود نوسان

f = فرکانس نوسان

ω = فرکانس حلیمی سیستم

$$\left.\begin{array}{l} N \text{ نوسان} \rightarrow t\,s \\ f \text{ فرکانس} \rightarrow 1\,s \end{array}\right\} \rightarrow f = \frac{N}{t} \rightarrow T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{t}{N}$$

http://amozeshrayegan.blog.ir

Scanned by CamScanner

توضیح آزمایش: هدف از انجام این آزمایش، اندازه‌گیری دوره تناوب نوسان آونگ به عنوان تابعی از طول آونگ برای انحرافات کوچک

وسایل آزمایش: گلوله فلزی - میله - پایه - خط‌کش - نخ غیرقابل کشش - زمان‌سنج

روش انجام: ابتدا دستگاه آونگ ساده را آماده کرده و سپس گلوله را به نخ وصل می‌کنیم و طرف دیگر نخ را به گیره متصل می‌کنیم. و با خط‌کش طول نخ را اندازه می‌گیریم و ثبت می‌کنیم، آونگ را کمی منحرف کرده و رها می‌کنیم، شروع به نوسان می‌کند. انحراف باید کمتر از 6° باشد اما برای بهتر دیده شدن ما به اندازه 10° آونگ را منحرف کردیم و از لحظه شروع نوسانات به وسیله زمان‌سنج تعداد نوسانات را در طول یک دقیقه ثبت نمودیم. سپس جنس گوی را تغییر دادیم و دوباره تعداد نوسانات را شمردیم، در چند بار طول نخ را تغییر دادیم و داده‌ها را یادداشت کردیم.

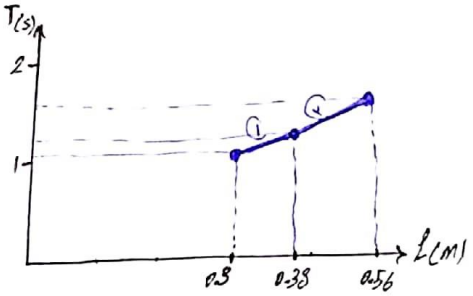
نتایج و بحث:

$t = 60s \longrightarrow N$ نوسان $\longrightarrow f = \frac{N}{60}$ & $f = \frac{1}{T} \longrightarrow T = \frac{60}{N}$

$t = 1s \longrightarrow f$

طول نخ l (m)	تعداد نوسان N	فرکانس f (Hz)	دوره تناوب T (s)	T^2 (s^2)
$l_1 = 0.3$	$N_1 = 54$	$f_1 = 0.9$	$T_1 = 1.1$	$T_1^2 = 1.21$
$l_2 = 0.38$	$N_2 = 50$	$f_2 = 0.83$	$T_2 = 1.2$	$T_2^2 = 1.44$
$l_3 = 0.56$	$N_3 = 40$	$f_3 = 0.66$	$T_3 = 1.5$	$T_3^2 = 2.25$

نمودار T برحسب l



$m_1 = \frac{T_2 - T_1}{l_2 - l_1} = \frac{1.2 - 1.1}{0.38 - 0.3} = 1.25$

$m_2 = \frac{T_3 - T_2}{l_3 - l_2} = \frac{1.5 - 1.2}{0.56 - 0.38} = 1.667$

شیب‌ها با هم برابر نیستند پس معادله نیستند

$T = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} = \frac{4.18}{3} = 1.267$

T_1 خطا $= \frac{|T - T_1|}{T} * 100\% = 13.18\%$

T_2 خطا $= \frac{|T - T_2|}{T} * 100\% = 5.28\%$

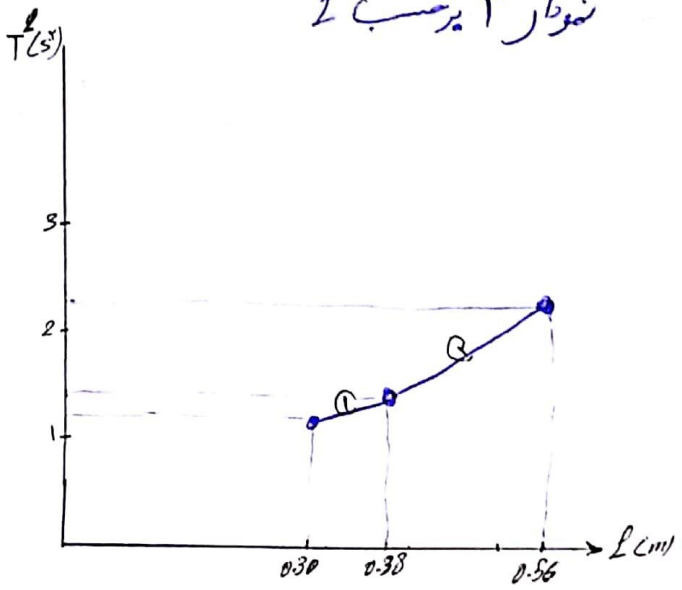
T_3 خطا $= \frac{|T - T_3|}{T} * 100\% = 18.39\%$

$g_{\text{تجربی}} = \frac{4\pi^2}{g} = \frac{4 \times 3.14^2}{9.81} = 4.02$

با نرم‌افزار رویه‌رو هم به همین مقدار واقعی بدست می‌آید.

Scanned by CamScanner

نمودار T^2 برحسب l



جرم m_2 = شیب خط l_2

جرم m_1 = شیب خط l_1

$$m_1 = \frac{l_2 - l_1}{T_2^2 - T_1^2} = \frac{1.00 - 0.38}{2.25 - 1.00} = 2.875$$

$$m_2 = \frac{l_2 - l_1}{T_2^2 - T_1^2} = \frac{1.56 - 0.38}{2.25 - 1.00} = 4.5$$

$$m_1 \text{ خطا درصد} = \frac{|m_{rel} - m_1|}{m_{rel}} \times 100 = \frac{|4.02 - 2.875|}{4.02} \times 100\% = 28.48\%$$

$$m_2 \text{ خطا} = \frac{|m_{rel} - m_2|}{m_{rel}} = \frac{|4.02 - 4.5|}{4.02} \times 100\% = 11.9\%$$

نتیجه گیری: ① عوامل خطا می تواند اشتباهات انسانی در شمارش تعداد نوسانات توسط فرد باشد ② می تواند در محاسبات استفاده باشد. ③ خود دستگاه دست نخورده باشد، تراز نباشد.

② دوره تناوب آونگ ساده در نوسانات کم دامنه ($\theta < 6^\circ$ یا $x < 0.1m$) به دامنه نوسان بستگی ندارد

③ جنس آونگ را تغییر دادیم ولی در تعداد نوسانات تغییر چندانی ایجاد نشد پس دوره تناوب آونگ ساده در نوسانات کم دامنه ($\theta < 6^\circ$) به جرم یا جنس آونگ بستگی ندارد.

④ زمان نوسان آونگ ساده کم دامنه با جذر طول آونگ رابطه مستقیم دارد.

⑤ زمان نوسان آونگ ساده کم دامنه با شتاب گرانش (در محل آزمایش) رابطه عکس دارد.

⑥ شتاب گرانش از رابطه $g = \frac{4\pi^2}{T^2}$ بدست می آید.

⑦ همواره شیب نمودار $\frac{T^2}{l}$ مقدار ثابتی می باشد.

http://amozeshrayegan.blog.ir

Scanned by CamScanner

آزمایش شماره ۲: سیستم جرم و فنر

چکیده: آزمایش جرم و فنر که متشکل از یک فنر کشسان و وزنه است به بررسی نحوه ارتعاش سیستم جرم و فنر و بدست آوردن تعداد نوسانات که همه در حوزه ارتعاش آزاد قرار می‌گیرد.

تئوری آزمایش: فنر کشسانی را در نظر بگیرید که با نیروی F کشیده شده است، این فنر کشسان نامیده می‌شود زیرا از قانون هوک تبعیت می‌کند، نیروی F به صورت خطی با جابجایی x تغییر می‌کند، ثابت فنر یا ضریب k، شیب منفی نیرو، شیب خطی است. واحد ضریب فنر واحد نیرو بر واحد جابجایی است. بنابراین $F = kx$

اگر جرم m به انتهای پایینی فنر متصل شود و به فنر آزاد داده شود که تعادل پایینی بیابند، فنر به اندازه فاصله $\Delta = mg/k$ به صورت استاتیکی از موقعیت آزادی جابجا می‌شود و نیروی فنر معادل وزن جرم آویخته شده خواهد بود.

$\Delta_1 = mg/h$ $\quad \Delta_2 = mg/h$ $\quad \Delta_3 = mg/h + x$

$\Delta_0 = 0$

تغییر طول (m)

$F_1 = mg$ $\quad \rightarrow k = \frac{F_1}{\Delta_1} = \frac{F_2}{\Delta_2} = \frac{F_3}{\Delta_3}$

$F_2 = mg + kx$

اگر جرم از موقعیت تعادل جدید جابجا شود حول موقعیت تعادل نوسان خواهد کرد. با استفاده از قانون دوم حرکت نیوتن معادله حرکت برای هر جابجایی x عبارت است از $\Sigma F = m\ddot{x}$

که می‌توان به صورت یک معادله دیفرانسیل خطی مرتبه دوم برحسب تنها مقصد x بیان شود، می‌توان دیدگاه جابجایی x نسبت به موقعیت تعادل سنجیده شده است. یعنی تعادل استاتیکی در $x = 0$ رخ می‌دهد و نیروی فنر حذف می‌شود. اگر فنر سیستم را به حالت تعادل برگردانده حذف می‌شود.

$mg - (mg + kx) = m\ddot{x} \rightarrow m\ddot{x} + kx = 0$

$m\ddot{x} + kx = 0$ پاسخ هارمونیک به ارتعاش است که اگر طرفین را بر m تقسیم کرده و معادله مرتبه اول را حل کنیم. پاسخ به صورت زیر خواهد بود.

$\ddot{x} + \frac{k}{m} x = 0$ $\quad \omega_n^2$

که ω_n فرکانس طبیعی سیستم است $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ $\quad$ پاسخ: $x = A\cos\omega_n t + B\sin\omega_n t$

از جایی که $T = \frac{2\pi}{\omega_n} \leftarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \leftarrow f = \frac{1}{T} \leftarrow f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$

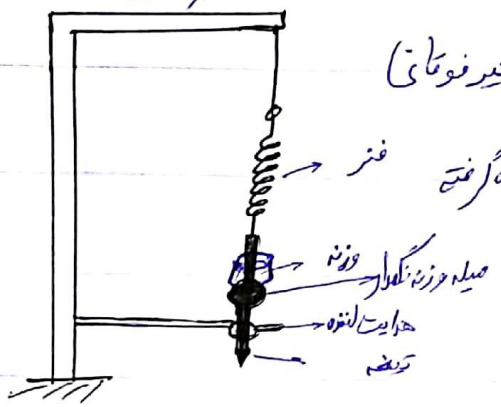
Scanned by CamScanner

توضیح آزمایش ۲:

هدف آزمایش ۲: بدست آوردن تعداد نوسانات در سیستم جرم و فنر و بدست آوردن ضریب ارتجاعی فنر

وسایل آزمایش ۲: یک فنر کشسان - خط‌کش - زمان‌سنج - وزنه

تیر فوتانی نگهارونده



روش انجام آزمایش ۲: ضلب ما اول دستگاه را آماده می‌کنیم فنر را به تیر فوقانی نگهارونده آویزان کرده طول آن را به عنوان طول اولیه x_0 اندازه گرفته و یادداشت می‌کنیم، سپس وزنه نگهدار را که جرم مشخصی دارد آویزان کرده و طول فنر را ثبت می‌کنیم سپس تیغه را گرفته رکمی پایین می‌کشیم و رها می‌کنیم و از لحظه (صفر) زمان گرفته و تعداد نوسانات را ثبت می‌کنیم، سپس جرم فنر را تغییر داده، و همین عملیات را تکرار می‌کنیم و هر بار Δx و تعداد نوسانات و زمان نوسانات را یادداشت کرده.

$g = 9.8\ \frac{m}{s^2}$

داده‌ها و نتایج:

$m_1 = 681\ gr$ $m_2 = 881\ gr$ $m_3 = 1081\ gr$

$\Delta x_1 = 2.1\ cm$ $\Delta x_2 = 3\ cm$ $\Delta x_3 = 4.5\ cm$

$\Sigma F = 0 \rightarrow mg - kx = 0 \rightarrow mg = k\Delta x \rightarrow k = \frac{mg}{\Delta x} \rightarrow$

$k_1 = 318.12\ \frac{kg}{s^2}$

$k_2 = 261.9\ \frac{kg}{s^2}$

$k_3 = 235.66\ \frac{kg}{s^2}$

ضریب ارتجاعی متوسط حساب می‌کنیم $k = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3} = 271.89\ \frac{kg}{s^2}$

تعداد نوسانات: تعداد نوسان $N \rightarrow t\,s \rightarrow T = \frac{t}{N}$

یک نوسان $\rightarrow T\,s$

وزن (gr)	$t_{(s)}$	$N^{\#}$	T^{s}	k	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	T^2	میزان خطا ٪
681	25	76	0.329	318.12	0.291	0.1082	13.1 ٪
881	17	45	0.378	261.9	0.364	0.1429	3.8 ٪

$T_1 = \frac{25}{76} = 0.329$

$T_2 = \frac{17}{45} = 0.378$

$\text{میزان خطا ٪} = \frac{T_{\text{بزرگتر}} - T_{\text{کوچکتر}}}{T_{\text{کوچکتر}}} \times 100$

http://amozeshrayegan.blogir

Scanned by CamScanner

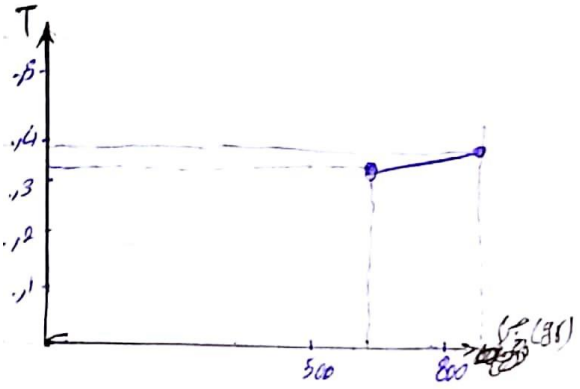
علل وجود خطا: ① عدم انواع گیری تعداد نوسانات و زمان نوسانات

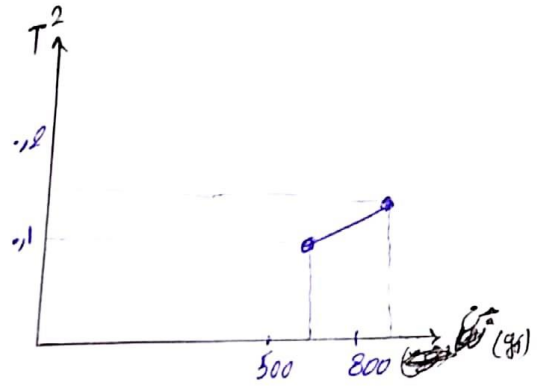
② وجود اصطکاک بین میله راهنمای دستگاه و تکیه گاه (هدایت کننده)، البته بران کاهش خطا می توان این مشکل را با روغن کاری کرد.

③ وجود مقاومت هوا

④ در قسمتی که تیغه به وسیله میله هدایت کننده، هدایت می شود، ممکن است لقی داشته باشیم.

⑤ در محاسبات مقدار اصطکاک را با تقریب وارد کرده، و همچنین ممکن است در اندازه گیری T_n دقت کم بوده باشد.





نتیجه گیری:

① در قسمت C به علت عدم وجود بوش هر بین هدایت کننده و تیغه، تیغه دارای انحرافاتی در همه جهت می باشد که باعث افزایش خطا می باشد.

② ما می توانستیم ضریب ارتجاعی را از فرمول $k=\frac{Gd^4}{8ND^3}$ بدست آوریم که G مدول برشی، d قطر سیم فنر، N تعداد حلقه های فنر و D قطر متوسط فنر می باشد.

③ در این آزمایش مقاومت هوا، نیروی کشیدگی فنر، اصطکاک بین اجزاء می تواند عامل دمپ یا میرایی ارتعاش باشد.

"پایان"

Scanned by CamScanner

Petroleum University of Technology

In the name of GOD

Linear vibration forced viscous damper

Report from a laboratory experiment conducted on?? ٢٥-december-٢٠١٨

As part of vibration lab

Hamed Mahmoudian

٩٥٦١١٢٣

Hamedmahmouduian76@gmail.com

http://amozeshrayegan.blog.ir

١-January-٢٠١٩

Scanned by CamScanner

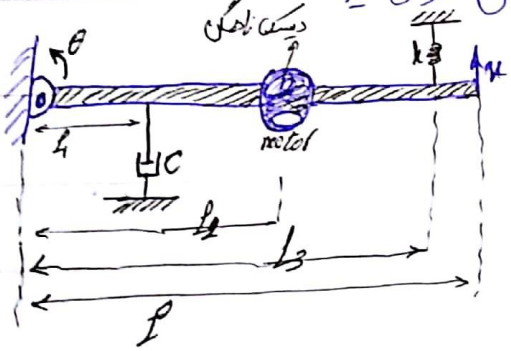
چکیده: همانگونه که می دانیم، تمامی سیستم های مکانیکی را می توان در قالب یک سیستم جرم و فنر و میراگر مدل سازی و ساده سازی نمود. در یک سیستم مکانیکی، جرم به عنوان عامل اینرسی و انرژی جنبشی، فنر به عنوان عامل ذخیره کننده انرژی و میراگر (damper) به عنوان عامل مستهلک کننده انرژی نقش آفرینی می نماید. و ما در این آزمایش می خواهیم ارتعاشات آزاد و اجباری را در یک سیستم جرم و فنر و میراگر به نمایندگی از سیستم های مکانیکی بررسی کرده و اثرات هریک از عوامل را در رفتار ارتعاشی آن تعیین کنیم.

مقدمه:

سیستم های ارتعاشی می توانند براثر تحریکات درونی یا بیرونی (هارمونیک) به نوسان درآیند. اگر یک سیستم بدون تحریک خارجی به نوسان درآید، به نوساناتش عامل، ارتعاش آزاد (Free Vibration) می گویند. و اگر توسط یک محرک انرژی خارجی به نوسان درآید، این گونه نوسانات در حوزه ارتعاشات اجباری یا هارمونیک (harmonic Vibration or forced Vibration) قرار می گیرند.

تئوری آزمایش:

ارتعاش آزاد: در ارتعاش آزاد سیستم بدون محرک خارجی به نوسان درمی آید.



$\sum M_0 = I_0\ddot{\theta} = -k x_3 l_3 - c\dot{x}_1 l_1$ ①

I_0 ممان اینرسی تیر و موتور حول لولا

k سختی فنر

l_2 = فاصله فنر از لولا

x_3 = جابجایی تیر در محل اتصال فنر

c ضریب میراگر

x_1 = جابجایی تیر در محل اتصال میراگر

l_1 = فاصله میراگر از لولا

x جابجایی انتهای تیر و l طول تیر است.

m جرم تیر

M جرم موتور و دیسک ناهمگن

l_2 فاصله موتور تا لولا

θ را برحسب x_3 و x_1 تشابه مثلثاتی $\rightarrow \theta = \frac{x}{l} = \frac{x_1}{l_1} = \frac{x_3}{l_3}$ ②

$\rightarrow I_0 = M l_2^2 + \frac{1}{3} m l^2$ ③ $\rightarrow I_0\ddot{\theta} + c(l_1\dot{\theta})l_1 + k(l_3\theta)l_3 = 0$ ④

③ و ④ $\rightarrow (M l_2^2 + \frac{1}{3} m l^2)\ddot{\theta} + (c l_1^2)\dot{\theta} + (k l_3^2)\theta = 0$ ⑤

$\rightarrow \underbrace{(M l_2^2 + \frac{1}{3} m l^2)}_{m_{eq}}\frac{\ddot{x}}{l} + \underbrace{(c l_1^2)}_{c_{eq}}\frac{\dot{x}}{l} + \underbrace{(k l_3^2)}_{k_{eq}}\frac{x}{l} = 0$ ⑥

⑤ + ⑥ $\rightarrow m_{eq}\ddot{x} + c_{eq}\dot{x} + k_{eq}x = 0$ ⑦

Scanned by CamScanner

$$m_{eq} = \frac{M l_2^2 + \frac{1}{3} m l^2}{l^2} \quad (8) \qquad c_{eq} = c \frac{l_1^2}{l^2} \quad (9) \qquad k_{eq} = k \frac{l_2^2}{l^2} \quad (10)$$

معادله ۱۱ را می‌توان به صورت معادله دیفرانسیل مرتبه دوم نوشت:

$$\ddot{x} + \frac{c_{eq}}{m_{eq}} \dot{x} + \frac{k_{eq}}{m_{eq}} x = 0 \quad (11)$$

ω_n = فرکانس طبیعی

ξ = ضریب میرایی

$$\rightarrow \ddot{x} + 2\xi\omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = 0 \quad (12)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{eq}}{m_{eq}}} \quad (13) \qquad 2\xi\omega_n = \frac{c_{eq}}{m_{eq}} \quad (14) \qquad \xi = \frac{c_{eq}}{2\sqrt{m_{eq} k_{eq}}} \quad (15)$$

ω_d = فرکانس طبیعی میرا شده

T = دوره تناوب

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\xi^2} \quad (16) \qquad T = \frac{2\pi}{\omega_d} = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}} \quad (17)$$

کاهش لگاریتمی:

x_n و x_{n+1} دامنه‌های دو نوسان متوالی هستند.

$$\ln\left(\frac{x_n}{x_{n+1}}\right) = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

ارتعاشات اجباری: در ارتعاشات اجباری سیستم با یک نیروی خارجی یا نوسان در می‌آید. به وسیله مشخصات دوار ناهمگن مرتبط از مرکز وادار شده و هر بار با چرخش مشخصات دوار این نیرو به صورت سینوسی به تیر وارد می‌گردد. و سبب ایجاد ارتعاش اجباری بر سیستم جرم و فنر و میرا گر مورد آزمایش می‌شود. در این حالت معادله دیفرانسیل به شکل زیر است:

$$m_{eq} \ddot{x} + c_{eq} \dot{x} + k_{eq} x = f_0 \sin\omega t \quad (20)$$

$$\ddot{x} + \frac{c_{eq}}{m_{eq}} \dot{x} + \frac{k_{eq}}{m_{eq}} x = \frac{f_0}{m_{eq}} \sin\omega t \quad (21)$$

ω فرکانس نیروی محرک (سرعت زاویه‌ای مشخصات دوار $\left(\frac{rad}{s}\right)$)

با توجه به نسبت تبدیل سرعت سیستم تسمه و پولی به صورت روبرو است:

$$\omega = \frac{2\pi \times 22}{60 \times 72} \times n \quad (22)$$

$$f_0 = 2 m_0 r_0 \omega^2 \quad (23)$$

دارای دو جواب خصوصی و عمومی است که x_c و x_p که تمرکز بر روی جواب خصوصی است:

$$x = X \sin(\omega t - \psi) \quad (24)$$

X: دامنه نوسان بلوبار

ψ: زاویه تاخیر فاز

$$X = \frac{f_0}{\sqrt{(k_{eq} - m_{eq}\omega^2)^2 + (c_{eq}\omega)^2}} \quad (25)$$

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{c_{eq}\omega}{k_{eq} - m_{eq}\omega^2}\right) \quad (26)$$

http://amozeshrayegan.blog.ir

Scanned by CamScanner

$$r = \frac{w}{w_n} \quad (27) \qquad X = \frac{F_0}{k_{eq}\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\xi r)^2}} \quad (28) \qquad \psi = \tan^{-1}\left(\frac{2\xi r}{1-r^2}\right) \quad (29)$$

X_0 دامنه نوسان استاتیکی:

$$X_0 = \frac{F_0}{k_{eq}} = \frac{2m_0 r_0 w^2}{k_{eq}} \quad (30)$$

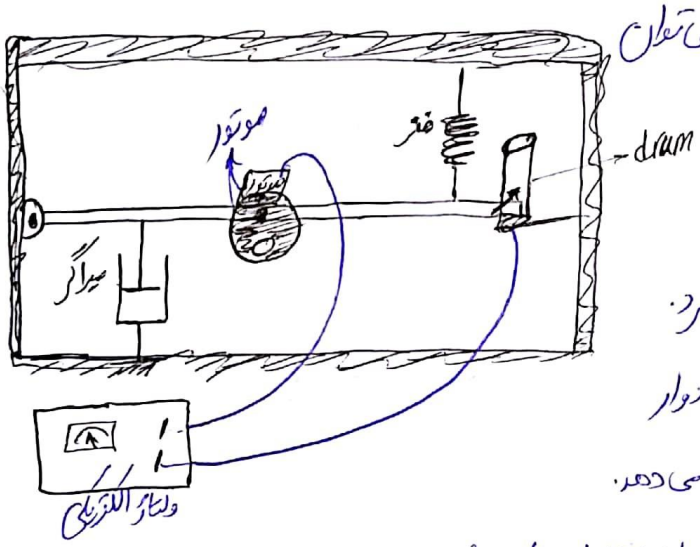
ضریب بزرگنمایی دینامیکی: دامنه نوسان پایدار / دامنه نوسان استاتیکی

$$\frac{X}{X_0} = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\xi r)^2}} \quad (31)$$

توضیح آزمایش:

هدف آزمایش: اندازه‌گیری ارتعاشات آزاد و اجباری سیستم جرم-فنر-میراگر و تأثیر فاصله دمپر و تالوله در ارتعاش

دستگاه آزمایش: این دستگاه تشکیل شده از یک تیر با مقطع مستطیلی شکل، که از یک طرف به تکیه‌گاه لولا شده و از طرف دیگر به یک فنر متصل است. ۵ ارتفاع تیر قابل تنظیم است. و همچنین می‌توان یک میراگر روغنی با پایه‌های قابل تنظیم را متصل کرد، این میراگر از یک پیستون متحرک در درون روغن تشکیل شده است. که با تنظیم سوراخ‌های درون آن پیستون می‌توان میرایی را تنظیم کرد. بر روی تیر یک موتور نصب شده است که دو صفحه دوار نامیزان دارد. که با چرخش این دیسک‌ها ارتعاش ورودی می‌دهد.



در این دستگاه از یک استوانه گردان (drum) برای ثبت نمودار ارتعاش استفاده می‌شود

روش انجام آزمایش:

ابتدا از سالم بودن و ایمنی دستگاه اطمینان حاصل کرده و سپس دستگاه را آماده کرده، ابتدا یکبار دستگاه را برای ارتعاش آزاد بدون میرایی آزمایش می‌کنیم پس دستگاه را به میراگر متصل نمی‌کنیم و موتور را نیز روشن نمی‌کنیم، سر آزاد تیر را پایین کشیده و drum را روشن کرده و رها می‌کنیم تا تیر به ارتعاش در آید و بدین ترتیب نمودار ارتعاش آزاد بدون میرایی نیز روی کاغذ رسم می‌شود سپس حال نوبت ارتعاش آزاد با میرایی: میراگر را نیز به تیر متصل کرده و باز هم تیر را با دست پایین کشیده و رها می‌کنیم تا نمودار ارتعاش آزاد با میرایی بر روی برگه ثبت شود

حال برای آزمایش ارتعاش اجباری با میرایی و بدون میرایی نیاز به یک نیروی خارجی داریم، برای همین این بار موتور را نیز همزمان با drum روشن کرده و ابتدا بدون اتصال میراگر برای ارتعاش اجباری

Scanned by CamScanner

بدون میراگر، سرعت موتور را افزایش داده و تا به تشدید رسیدن آنرا دنبال می‌کنیم. سپس دستگاه را خاموش کرده و حال میراگر را متصل می‌کنیم، و dMM و موتور را روشن کرده و سرعت را افزایش می‌دهیم تا نمودار ارتعاش اجباری بدون میرایی رسم شود. حال می‌توانیم میزان میرایی را با جایگذاشتن چسبیدن داخل میراگر تغییر دهیم همچنین می‌توانیم [illegible] را امتحان کنیم. سپس در آخر دستگاه را خاموش می‌کنیم.

نتایج:

ارتعاش آزاد بدون میرایی　　ارتعاش آزاد با میرایی　　ارتعاش [illegible] میرایی

نتیجه گیری و پیشنهادات:

① با توجه به وجود میرایی در سیستم و کاهش دامنه نوسانات، نمی‌توان به صورت عملی فرکانس طبیعی را در حالت آزمایش اندازه‌گیری کرد.

② با اندازه‌گیری فرکانس طبیعی میرا شده یا دوره تناوب نمی‌توان به مقادیر صحیح [illegible] میرایی و فرکانس طبیعی رسید. و بدان همین در سیستم‌های نوسانی میرا شونده، می‌توان براساس کاهش لگاریتمی دامنه‌های نوسان ضریب میرایی سیستم را بدست آورد.

③ اگر نمودار جابجایی تیر را نسبت به زمان داشته باشیم، می‌توان از روی نمودار دوره تناوب و کاهش لگاریتمی را اندازه‌گیری کنیم و مقادیر مورد نیاز را محاسبه کنیم.

④ اما سوال اصلی آزمایش: طبق فرمول (8) $M_{eq} = \frac{ML_2^2 + \frac{1}{3}mL^2}{L^2}$ هرچه فاصله L_2 (یعنی فاصله موتور) زیاد باشد M_{eq} نیز زیاد شده و طبق $\omega_n = \sqrt{\frac{k_{eq}}{M_{eq}}}$ فرکانس کاهش می‌یابد. و در نتیجه افزایش پریود را خواهیم داشت.

طبق فرمول $C_{eq} = C\frac{L_1^2}{L^2}$ هرچه فاصله میراگر تا لولا زیاد باشد C_{eq} هم زیاد شده پس طبق $\zeta = \frac{C_{eq}}{2\sqrt{M_{eq}k_{eq}}}$ ضریب میرایی افزایش [illegible] پیدا می‌کند.

و همچنین هرچه فاصله فنر زیاد باشد باعث افزایش k_{eq} شده و در نتیجه پریود نوسانات کاهش پیدا می‌کند.

«پایان»

http://amozeshrayegan.blog.ir

Scanned by CamScanner

Petroleum University of Technology

In the name of GOD

Dynamic vibration absorbers & Critical distance test shafts

Report from a laboratory experiment conducted on?? ٢٥-Decembre-٢٠١٨

As part of vibration lab

Hamed Mahmoudian

٩٥٦١١٢٣

٨-January-٢٠١٩

Hamedmahmouduian76@gmail.com

http://amozeshrayegan.blog.ir

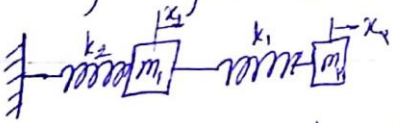
Scanned by CamScanner

آزمایش اول : جذب کننده دینامیکی ارتعاش

چکیده: امروزه ارتعاشات خسارت‌های زیادی را به اجزاء و ماشین آلات در صنعت وارد می‌آورد. مثل ارتعاش شفت که باعث می‌شود تا بعضی از اجزا بشکنند یا دچار خستگی شوند از این رو بشر سعی داشته از ارتعاشات دوری کرده یا به نحوی آن را کنترل کند، با توجه به اهمیت ارتعاش امروزه سیستم‌هایی برای مقابله با ارتعاش طراحی شده است مثل حرکت ساختمان‌ها بر روی پایه‌هایی که در هنگام زمین لرزه ارتعاش را جذب کرده یا در ساختمان‌های خیلی بلند از آونگ بسیار بزرگی استفاده می‌شود تا ساختمان در برابر ارتعاش ایمن بماند. ما هم در این جا می‌خواهیم آزمایش جذب کننده دینامیکی را آزمایش کنیم.

تئوری آزمایش: جذب کننده دینامیکی سیستم فرعی مکانیکی است که برای کاهش یا از بین بردن ارتعاشات ناخواسته در ماشین به کار می‌رود. این روش به خصوص در ماشین‌هایی با دور ثابت که دامنه ارتعاش به علت تزدیکی به فرکانس تشدید در آنها بسیار زیاد گشته و فرکانس سرگش خارجی یا فرکانس طبیعی سیستم هیچکدام قابل تغییر نباشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

اگر به یک سیستم یک درجه آزادی اصلی متشکل از جرم m_1 و فنری با ضریب سختی k_1 نیروی محرک $F=F_0 \sin \omega t$ و سیستم دیگری فرعی متشکل از جرم m_2 و فنری با ضریب سختی k_2 مطابق شکل بیافزاییم، سیستم جدیدی دارای دو درجه آزادی خواهیم داشت و معادلات آن به صورت زیر است.



$$\begin{cases} \sum F = m_1 \ddot{x}_1 \rightarrow -k_1 x_1 - k_2(x_1 - x_2) + F_0 \sin \omega t = m_1 \ddot{x}_1 \\ \sum F_{x_2} = m_2 \ddot{x}_2 \rightarrow k_2(x_1 - x_2) = m_2 \ddot{x}_2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} -k_1 x_1 - k_2 x_1 + k_2 x_2 + F_0 \sin \omega t = m_1 \ddot{x}_1 \\ k_2 x_1 - k_2 x_2 = m_2 \ddot{x}_2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2 x_1 - k_2 x_2 = F_0 \sin \omega t \\ m_2 \ddot{x}_2 - k_2 x_1 + k_2 x_2 = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + (k_1 + k_2) x_1 - k_2 x_2 = F_0 \sin \omega t \\ m_2 \ddot{x}_2 + k_2 x_2 - k_2 x_1 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\rightarrow \begin{cases} x_1 = X_{01} \sin \omega t \rightarrow \ddot{x}_1 = -\omega X_{01} \cos \omega t \\ x_2 = X_{02} \sin \omega t \rightarrow \ddot{x}_2 = -\omega X_{02} \cos \omega t \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \ddot{x}_1 = -\omega^2 X_{01} \sin \omega t \\ \ddot{x}_2 = -\omega^2 X_{02} \sin \omega t \end{cases}$$

جایگذاری در معادله (1)

$$\rightarrow \begin{cases} m_1(-\omega^2 X_{01} \sin \omega t) + (k_1 + k_2)(X_{01} \sin \omega t) - k_2(X_{02} \sin \omega t) = F_0 \sin \omega t \\ m_2(-\omega^2 X_{02} \sin \omega t) + k_2(X_{02} \sin \omega t) - k_2(X_{01} \sin \omega t) = 0 \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} -m_1 \omega^2 X_{01} + (k_1 + k_2) X_{01} - k_2 X_{02} = F_0 \\ -m_2 \omega^2 X_{02} + k_2 X_{02} - k_2 X_{01} = 0 \end{cases}$$

Scanned by CamScanner

$$\rightarrow \begin{cases} (k_1+k_2) - m_1\omega^2 \} X_{01} - k_2 X_{02} = F_0 \quad ① \\ [k_2 - m_2\omega^2] X_{02} - k_2 X_{01} = 0 \quad ② \end{cases}$$

حال نسبت دامنه‌ها را بدست می‌آوریم.

$$\frac{X_{02}}{X_{01}} = \frac{k_2}{k_2 - m_2\omega^2}$$

② در ③ جایگذاری

$$X_{01} = \frac{F_0 [k_2 - m_2\omega^2]}{[(k_1+k_2) - m_2\omega^2][k_2 - m_2\omega^2] - k_2^2} \quad ④$$

حال اگر معادله ④ را بر k_2 تقسیم کنیم فرکانس‌های طبیعی سیستم دو درجه آزادی بدست می‌آید

ω_{11} فرکانس طبیعی سیستم اصلی با جرم m_1 — β نسبت فرکانس‌ها — μ نسبت جرم‌ها — ω_{11}, ω_{22} فرکانس‌های طبیعی سیستم قرینه‌ای به انتهای

حال با ساده کردن دو معادله ③ و ④ داریم:

$$\frac{X_{01}}{X_0} = \frac{1 - \omega^2/\omega_{22}^2}{(1+\mu\beta^2 - \omega^2/\omega_{11}^2)(1-\omega^2/\omega_{22}^2) - \mu\beta^2} \quad (\star)$$

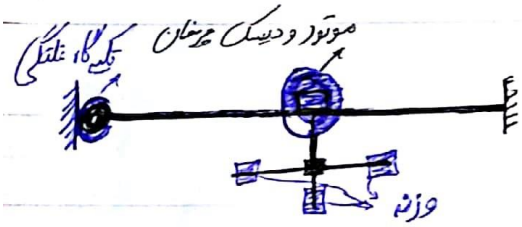
$$\frac{X_{02}}{X_0} = \frac{1}{(1+\mu\beta^2 - \omega^2/\omega_{11}^2)(1-\omega^2/\omega_{22}^2) - \mu\beta^2} \quad (\star\star)$$

$$k_2 - m_2\omega^2 = 0 \rightarrow \omega^2 = \frac{k_2}{m_2} \rightarrow \boxed{\omega^2 = \omega_{22}^2}$$

یعنی اینکه به ازای $\omega = \omega_{22}$ دامنه نوسان جرم اصلی m_1 یعنی X_1 صفر می‌شود. این امر ترتیب با انتخاب جرم m_2 یا فنر k_2 به طوری که $\omega = \omega_{22} = \sqrt{\frac{k_2}{m_2}}$ باشد می‌توان نیروی وارد بر سیستم اصلی را در فرکانس تحریک ω به صفر رساند.

توضیح آزمایش ۱:

هدف: بررسی و مطالعه چگونگی جذب ارتعاشات در یک سیستم مرتعش با اضافه نمودن یک سیستم فرعی که فرکانس طبیعی آن منطبق بر فرکانس تحریک باشد.



وسیله آزمایش: دستگاه آزمایش مطابق شکل از یک تیر فولادی و یک سر اتصال غلتکی تشکیل شده است که در وسط آن یک موتور با سرعت متغیر نصب شده است. همچنین یک دیسک ناهمگن متصل به موتور برای تولید نیروی محرک خارجی هارمونیک وجود دارد. سیستم فرعی جذب کننده، متشکل از دو قیچی فولادی و دو وزنه به جرم m می‌باشد که به فاصله قابل

http://amozeshrayegan.blog.ir

Scanned by CamScanner

تقلیل ۲ دو طرفین تیغه‌ها بسته می‌شوند. در این حالت سیستم فرمی مانند یک تیر یک سر گیردار عمل می‌کند، لذا فرکانس آن از رابطه روبرو بدست می‌آید.

$$f = \frac{60}{2\pi}\sqrt{\frac{3EI}{(m+0.236m_s)l^3}}$$

با فرض اینکه دیسک استاتیک و دینامیک مثل هم هستند خواهیم داشت:

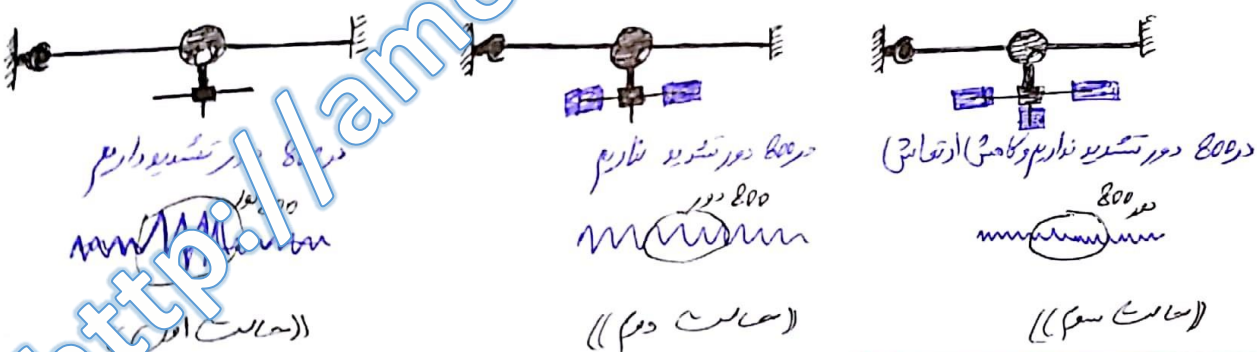
$$\omega_n = \sqrt{\frac{3EI}{(m+\frac{33}{140}m_s)l^3}}$$

فرکانس طبیعی:

روش انجام آزمایش

دستگاه را آماده کرده و برای اطمینان بیشتر از صحیح بودن پیچ آن اطمینان حاصل می‌کنیم، سپس دستگاه را یک بار بدون وزنه روشن و سرعت به افزایش سرعت آن می‌کنیم تا زمانی که تشدید رخ بدهد. که تقریباً در ۸۰۰ دور تشدید داد، حال ما بایستی تغییراتی در سیستم می‌دادیم که در این دور تشدید را دور کند برای همین به تیغه‌های آن وزنه‌هایی آویزان کردیم که باعث جذب دینامیکی ارتعاش شود و تشدید را دور کردیم. سپس دستگاه را خاموش کردیم.

نتایج:



«حالت سوم» «حالت دوم»

نتیجه گیری و پیشنهادات:

۱) جذب کننده دینامیکی ارتعاش روش ساده‌ای برای کنترل ارتعاش سیستم‌های مختلف می‌باشد که کاربرد وسیع و متنوعی دارد. مثلاً در ماشین‌های لباسشویی - تیرهای انتقال نیرو و انتقال برق دستگاه آبمیوه‌گیری - خانه‌های ضد زلزله و غیره.

۲) در این آزمایش علت اصلی ارتعاش نیروی خارجی هارمونیکی است که به وسیله دیسک ناهمگن اعمال می‌شود. اگر ما در ناهمگنی دیسک تغییراتی انجام دهیم، مثلاً در نیروی هارمونیکی تغییراتی انجام داده‌ایم، من فکر می‌کنم این هم می‌تواند راهی برای رد کردن تشدید باشد.

http://amozeshrayegan.blog.ir

Scanned by CamScanner

3) در حالت دوم که دو وزنه را به کیفه ها اضافه کردیم، در این حالت این وزنه ها مثل یک سیستم فنر-جرم بوده و مانند یک تغییر یک سرگیردار عمل کرده، و ارتعاش را جذب خود می کنند. در واقع ارتعاش تنها در اصلی صرف به حرکت در آمدن این دو وزنه می شود.

4) طبق فرمول $\omega = \omega_{sys} = \sqrt{\frac{k}{m_1}}$ بدان این که دامنه نوسان جرم اصلی m_1 (سیستم اصلی) یعنی x_1 صفر شود یا کاهش پیدا کند، به این ترتیب با اضافه کردن وزنه m_2 می توان نیروی وارد بر سیستم اصلی را در فرکانس تحریک ω به صفر رساند یا حداقل دامنه نوسان را کاهش داد.

5) هنگامی که وزنه را به وسیله کیفه اضافه می کنیم (حالت 2) نیروی قابل توجهی از سیستم صرف با ارتعاش در آمدن وزنه ها شده و در نتیجه در کل سیستم (زنجیر) کاهش می یابد، یا طبق فرمول $\omega = \sqrt{\frac{k_2}{m_2}}$ با افزایش m_2 به نتیجه می رسیم که ω کاهش می یابد در نتیجه دامنه ارتعاش کاهش می یابد.

6) در این آزمایش اگر بجای یک موتور از دو موتور استفاده می شد، نتایج به مراتب بهتری بدست می آمد.

http://amozeshrayegan.blog.ir

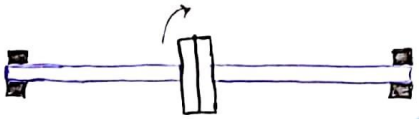
Scanned by CamScanner

آزمایش دوم: سرعت بحرانی در شفت‌ها

چکیده: در این آزمایش که مربوط به ارتعاش در شفت‌ها می‌باشد، در صنعت و طراحی امر مهمی بوده که معمولاً به دور بحرانی می‌پردازد. با استفاده از یک شفت در حال گردش به ارتعاش هارمونیک پرداخته و میخواهیم تشدید را بهتر درک کنیم. در این آزمایش از یک روتور و چند بولبرینگ استفاده می‌کنیم و می‌خواهیم تأثیر آنها را ببینیم.

تئوری آزمایش: شفت در حال گردش یا روتور، در سرعت های معین ارتعاشات عرضی بیش از حدی را از خود نشان می‌دهد. سرعتی از شفت در آن چنین اتفاقی می‌افتد به سرعت بحرانی یا سرعت چرخشی بحرانی معروف است. در این سرعت شیبگی ها [illegible] تغییری قابل توجهی می‌شوند. بطور مثال انحرافات زیاد شفت که در یک سرعت بحرانی اتفاق می‌افتد. صورت مسئله های بالا قائی زیادی شده، که در نتیجه یا ناقان خوب حل نکرده و به تکیه گاه ها صدمه می‌زند؛ به همین منظور نباید یک شفت [illegible] سرعت های نزدیک به سرعت بحرانی کار کند.

زمانی که محور دورانی تحت بارگذاری استاتیکی مطابق شکل [illegible] دارای



فرکانس طبیعی $W_n = \sqrt{\frac{g}{s}}$ خواهد بود که در آن W_n فرکانس طبیعی [illegible] بارگذاری خواهد بود.

برحسب $\frac{lbf}{sec}$ و g شتاب ثقل برحسب $\frac{m}{s^2}$ و s خیز تیر [illegible]

و فرکانس طبیعی سیستم برحسب RPM برابر است با: $N_k = \frac{60}{2\pi}\sqrt{\frac{9.8\times10^2}{s}} = 30\sqrt{\frac{1}{s}}$ ***

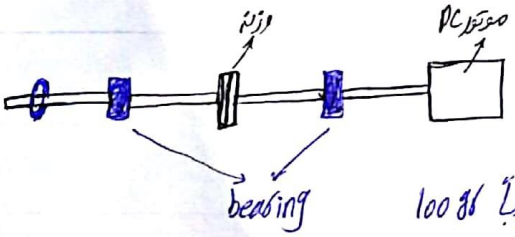
که در این رابطه N_k فرکانس طبیعی سیستم برحسب RPM و s خیز تیر (شفت) در محل [illegible] برحسب (cm) است

مقدار خیز در حالت بارگذاری فوق $s = \frac{Fa^2b^2}{3EIL}$ می‌باشد. که L طول محور و a و b فاصله‌های [illegible] وزن

تجهیزات آزمایش:

هدف آزمایش: بدست آوردن دور بحرانی محوری که تحت بارگذاری قرار گرفته و بدست آوردن تاثیر فاصله و نوع bearing ها در سرعت بحرانی یا سرعتی که تشدید رخ می‌دهد.

وسایل آزمایش: دستگاه آزمایش از یک محور دوار که به وسیله یک موتور DC یا دور متغیر و چند وزنه و چند bearing تشکیل شده است.



شرح آزمایش: ابتدا دستگاه را آماده کرده و چند وزنه کوچک تقریباً 100 gr در وسط روتور متصل کرده و bearing ها را در فاصله های معلوم از وزنه به روتور متصل می‌کنیم (هیچ کدام را مثل کرده و به صفر دلخواه جابجا کرده و سپس محکم می‌کنیم) سپس روتور را روشن کرده و شروع به افزایش سرعت آن می‌کنیم تا روتور در دور خاصی به سرعت بحرانی برسد، با افزایش سرعت از سرعت بحرانی رد شده و تشدید را رد می‌کنیم. که این تشدید

http://amozeshrayegan.blog.ir

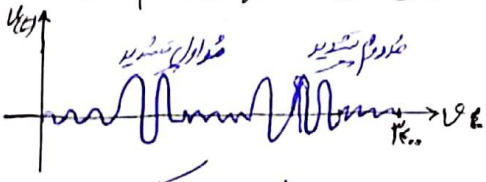
Scanned by CamScanner

مداول بود اگر سرعت را زیاد بردیم بالا بازهم تشدیدی در مود دوم رخ می دهد. سرعت را کاهش داده و خاموش می کنیم. سپس فاصله bearing ها را زیاد و سعلی زیاد کردیم و دوباره دستگاه را روشن و شروع به افزایش سرعت کردیم که این بار تشدید رخ داد اما هرچه سرعت را افزایش دادیم از تشدید خارج نمی شد. و بنابراین فاصله زیاد از حله بیرون نمی آمده سرعت را شیلی افزایش دادیم تا از حله تشدید خارج شویم، سپس سرعت را صفر کرده و سپس دستگاه را خاموش کردیم.

در کل مراحل بالا بایستی برای حفظ ایمنی محافظ دستگاه را بسته نگه داریم.

نتایج

نمودار ارتعاش شفت برحسب سرعت برای زمانی که فاصله bearing ها کم است



نمودار ارتعاش شفت برحسب سرعت برای زمانی که فاصله bearing ها زیاد است

وقتی که فاصله bearing ها را زیاد کردیم تشدید رخ داد و خیلی خلوت بود و در سرعت های بالاتر توانستیم رد کنیم پس نتیجه میگیریم که باید تعداد bearing ها مناسب و فاصله بینشون هم مناسب باشه تا شفت خیز زیادی نداشته باشه. با این کار تشدید را سریع رد کرده.

نتیجه گیری ۲:

① فاصله bearing ها خیلی در تشدید در شفت تاثیر دارد اگر با این حساب هرچه فاصله bearing ها کمتر باشد خیلی بهتر بوده چون خیز شفت کمتر شده پس فرکانس طبیعی سیستم افزایش پیدا کرده و توانستیم راحت تشدید رخ داد سریعتر از آن رد بشویم.

② پیرینگ های متمرکز نسبت به ثابت خیلی بهتر هستند چون گشتاور در شفت را به صورت قابل توجهی کاهش می دهند هرچند ممکن است باعث ایجاد لقی ارتعاش محور شوند.

③ نابرابری جرمی شفت ها تاثیر بسزایی در ارتعاش شفت دارد پس برای کاهش ارتعاش در شفت ها بهتر است شفت یک دست و صاف و صنعتی باشد.

④ طبق فرمول خیز $\delta = \frac{Fa^2b^2}{3EIL}$ هرچه وزن کمتر باشد سطح مقطع شفت بیشتر باشد، طول آن بیشتر باشد در نتیجه δ خیز کمتر شده و طبق فرمول $\omega = \sqrt{\frac{g}{\delta}}$ فرکانس طبیعی سیستم زیاد شده و لذا ارتعاش و تشدید سریعتر رخ می دهد. پس بهتر است L کوچکتر و d سطح مقطع شفت کمتر و وزن F بیشتر شود.

http://amozeshgayegan.blog.ir

Scanned by CamScanner